

Učenje temeljeno na didaktičkim računalnim igrama

Ivona Franković

Odjel za informatiku, Sveučilište u Rijeci

Radmile Matejčić 2, 51000 Rijeka

ifrankovic@inf.uniri.hr

Sažetak – Didaktičke računalne igre sve se češće koriste u obrazovnom kontekstu kako bi se učenicima na zanimljiviji način prikazalo gradivo te povećala motivaciju za učenjem nastavnih sadržaja. Didaktičke igre (engl. *serious games*) su interaktivne, kompetitivne lekcije s definiranim ishodima učenja koje učeniku dopuštaju zabavu tijekom stjecanja znanja, no njihov cilj nije samo zabava, već sadrže i edukativnu komponentu.

U radu su navedene i objašnjene karakteristike računalnih didaktičkih igara. Opisano je kako utječu na motivaciju učenika te na koji način se mogu primijeniti u nastavi, osobito u nastavi informatike.

Ključne riječi – učenje temeljeno na igrama, igrifikacija, didaktičke računalne igre, SAADIE

I. UVOD

Informacijsko komunikacijske tehnologije (IKT) u današnjem društvu koje se može nazvati digitalnim imaju utjecaj na gotovo svaki dio života, od posla, društvenog života, zabave, pa sve do obrazovanja. Mijenja se način komunikacije, traženja pomoći, pristupanju informacijama, a samim time i način učenja. Današnji učenici pripadaju generacijama koje su odrasle uz nove digitalne tehnologije poput računala, video igrice, videokamera, mobitela te ostalih igračaka i uređaja digitalnog doba. Takvo okruženje i količina interakcije s njime iz temelja su promijenili način razmišljanja i obradu informacija što ih čini izvornim govornicima digitalnog jezika računala, video igrice i Interneta te ih Prensky naziva digitalnim urođenicima (engl. *digital natives*) [1].

Edukacija trenutno prolazi kroz velike promjene, u središte stavlja učenike – digitalne urođenike te zahtjeva prelazak s tradicionalnog prenošenja informacija na formu aktivnog učenja kod koje je naglasak na sudjelovanju učenika [2]. Time se značajno mijenja uloga učitelja te umjesto tradicionalnog, didaktičkog podučavanja, učitelj priprema suvremeno okruženje i zadatke za samostalno učenje kroz koje vodi učenike i daje konstruktivne povratne informacije [3]. Ove promjene počinju se pratiti i u hrvatskom obrazovnom sustavu te tako Nacionalni okvirni kurikulum (NOK) promiče obrazovanje usmjereno na učenika te pristup usmjeren na razvoj kompetencija što zahtjeva promjenu metoda i oblika rada. Kako bi se to ostvarilo, predlaže se uvođenje interaktivnih sustava koji su otvoreni dijalogu, izboru i odlučivanju te omogućuju samostalno učenje, a od metoda se potvrđuju istraživačka nastava, projektna nastava, multimedijaska nastava, problemsko učenje i sl. [4]. Učitelj treba naći način kako

olakšati i potaknuti učenje podržavajući kreativno i inovativno razmišljanje te uključiti učenike u istraživanje i rješavanje problema koristeći računalne alate. Prije se učenje shvaćalo kao sposobnost pamćenja i dosjećanja informacija, dok se danas pod učenjem podrazumijeva sposobnost pronalaska informacija i njihova primjena [5]. Iako se postepeno uvodi u nastavu, primjena IKT u tradicionalnom obrazovanju je još uvijek zapostavljena. To se odnosi i na komunikaciju, suradnju, distribuciju materijala za učenje i objavljivanje rezultata sudionika [6].

Donedavno se novi pristup u obrazovanje pokušavao uvesti pomoću digitalnih tehnologija poput multimedijских i hipermedijских sadržaja za učenje, no u posljednje vrijeme se pozornost sve više okreće, relativno novom mediju u učenju – video igrama. [7]. Video igre, općenito, su izuzetno popularne što izaziva podijeljene reakcije. Jedni su zabrinuti zbog nasilja u pojedinim igrama i količinom vremena kojeg mladi provode igrajući za računalom, dok drugi smatraju da određene igre mogu bit poučne. Obzirom na njihovu popularnost privukle su pažnju učitelja. Budući da sadržaj prezentiraju na primamljiv način uključujući interaktivnost i angažman učenika, postaju sve važniji edukacijski alat [3] [8].

U ovome radu opisuje se koncept učenja pomoću didaktičkih računalnih igara te njihovo korištenje u nastavi informatike. U drugom poglavlju se definiraju računalne igre i navode njihove karakteristike. Treće poglavlje donosi opis strategije poučavanja i pedagoških modela prikladnih za igre te utjecaj didaktičkih video igara na motivaciju učenika. U četvrtom poglavlju govori se o važnosti dobrog dizajna igre te su navedene i objašnjene faze razvoja didaktičkih računalnih igara. Peto poglavlje govori o primjeni didaktičkih računalnih igara u nastavi informatike. Šesto poglavlje obuhvaća zaključak s mogućim smjernicama za daljnje istraživanje.

II. RAČUNALNE DIDAKTIČKE IGRE I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Prije dubljeg ulaska u temu potrebno je definirati pojam *igra* i još važnije pojam *didaktička igra* (engl. *serious games* SG).

Potpuni opis pojma igra dao je Cailois još 1961. godine govoreći kako je igra dobrovoljna aktivnost koja pruža užitak, odvojena je od stvarnog svijeta, nesigurna i neproduktivna u smislu da ne proizvodi nikakva dobra iz stvarnog svijeta, a upravljana je pravilima [3].

Igra se povezuje s užitkom, opuštanjem i zabavom, odnosno

smatra se suprotnošću poslu zbog čega su još od antičkog doba postojala podijeljena mišljenja o tome trebaju li se koristiti za učenje. Platon je smatrao da su igra (grč. *paidia*) i edukacija (grč. *paideia*) blisko povezani, odnosno da igra tijekom djetinjstva oblikuje buduću odraslu osobu, dok s druge strane Aristotel je igru doživljavao kao potpunu suprotnost učenju. Kroz povijest su se mišljenja nastavila izmjenjivati. No pitanje koje je i dalje prisutno je: mogu li i kako igre biti korisne? U pozadini ovog pitanja je potreba za razumijevanjem procesa učenja, a odgovor je moguće pronaći u skrivenoj svrsishodnosti igara [9]. Većina učitelja i dalje smatra da je podučavanje veoma ozbiljno te da nema mjesta za igru zbog čega se igre rijetko koriste u formalnom obrazovanju, osobito u obrazovanju učenika starije školske dobi. No u novije doba igre smatraju važnim oblikom učenja te se ulaže snage u razvijanje i primjenu računalnih didaktičkih igara. Uviđa se njihov potencijal jer potiču motivaciju tako što izravno uključuju učenike [2][10].

A. Didaktičke igre

Didaktičke igre se mogu definirati kao interaktivne, kompetitivne lekcije s definiranim ishodima učenja koje učeniku dopuštaju zabavu tijekom stjecanja znanja. Njihov cilj nije isključivo zabava, već sadrže edukacijsku komponentu. Moguće ih je razviti s različitim ciljem – poticanje učenja, razvijanje kognitivnih vještina ili kao simulacije koje omogućuju stjecanje vještina u virtualnom okruženju [7][11].

Didaktičke igre se često spominju u kontekstu *e-obrazovanja*, a povezane su s terminima učenje temeljno na igrama (*game-based learning* - GBL) i učenje temeljeno na digitalnim igrama, odnosno igrama na računalu (*digital game-based learning* - DGBL). Dok je e-obrazovanje općenitiji koncept učenja potpomognut tehnologijama koji često uključuje učenje na daljinu, preostala dva pojma se manje-više smatraju sinonimima didaktičkih igara s time da je važno naglasiti razliku između GBL-a i DGBL-a. Potonji uvodi restrikciju i obuhvaća isključivo digitalne igre [12]. Prednosti didaktičkih igara u odnosu na tradicionalno e-obrazovanje su:

- imaju realistično okruženje koje igraču omogućuje otkrivanje granica i opcija, jasno definirana realna pravila (npr. ako se slomi krilo, avion će pasti)
- imaju jasno definiranu svrhu (npr. na kraju igre igrač sastavi računalno od komponenti sakupljenih tijekom igre)
- interaktivne su – sve što igrač napravi ili ne napravi izravno utječe na tijek igre
- imaju jasne ishode koji pružaju relevantnu i smislenu povratnu informaciju kako bi igrač shvatio posljedice svojih odluka i ponašanja (npr. ako igrač ostane bez novca, propasti će)
- prilagodljive su – prate napredak igrača održavajući ravnotežu između dosade (ukoliko su ciljevi prelagani) i frustracije (ako su ciljevi preteški)
- od igrača zahtijevaju kognitivno sudjelovanje koje uključuje kreativno razmišljanje, istraživanje, razmišljanje o posljedicama i sl.

- na kraju, ali ne manje važno, učenik uživa dok ih igra što ima za posljedicu dužu koncentraciju i pozornost [13].

Igre su prisutne u svakoj fazi čovjekova razvoja no najviše se koriste u najmlađoj dobi. Svaka igra ima svoje specifičnosti koje utječu na popularnost i njihovu korist u procesu učenju [2].

B. Karakteristike računalnih igara

Različiti istraživači ističu različite karakteristike računalnih didaktičkih igara kao bitne. Presjek svih osobina uključuje sljedeće karakteristike [3][2][14][15]:

- **Cilj** – igrač nastoji postići cilj prema priči i izazovima igre
- **Pravila** – daju strukturu igri, mogu se primjenjivati pravila iz stvarnog života, ali prilagođena ograničenjima okruženja i vremenu igre, pomažu igraču svladavanje vještina niže razine
- **Virtualni svijet/fantazija** – upotreba zvučnih efekata, dinamičke grafike, 3D virtualnog svijeta i umjetne inteligencije za prikazivanje stvarnosti
- **Interakcija** – dva su aspekta interakcije: jedan omogućuje igraču suradnju s ostalim igračima i okruženjem igre, dok drugi pruža osjećaj kontrole nad događajima i mogućnostima kako bi utjecali na tijek igre
- **Natjecanje** – s drugim učenicima čini učenje ugodnijim čime se potiče motivacija učenika koji je ne pronalaze u tradicionalnom načinu podučavanja
- **Stimulacija osjetila** – zvučni efekti i dinamička grafika privlače pozornost igrača i privremeno ga vode u drugi tip realnosti omogućujući mu da osjeti virtualnu stvarnost
- **Zagonetnost** – potiče se nepodudaranjem informacija, kompleksnošću, pričom, elementima iznenađenja, nekompatibilnošću ideja i nemogućnošću predviđanja budućih događaja
- **Suradnja i/ili kontrola** - se odnosi na vježbu autoritativnosti ili sposobnošću upravljanja, reguliranja ili vođenja što se u igri postiže omogućavajući igraču izbor strategije, upravljanje aktivnostima i donošenje odluka koje direktno utječu na ishod
- **Izazov** – čini igru zanimljivom no ne smije biti niti pretežak niti prelagan jer u oba slučaja igrač gubi zainteresiranost, odnosno moraju biti prilagođeni za ciljane skupine
- **Povratna informacija** – mora biti pravovremena, a igraču omogućuje provjeru primjerenosti svojih postupaka te napretka prema ciljevima igre

III. IGRE I UČENJE

A. Učenje temeljeno na igrama i igrifikacija

Sve većom uporabom didaktičkih igara pojavio se problem neshvaćanja razlike između pojma učenja temeljno na igrama (engl. *Game-based learning* GBL) i igrifikacije (engl. *Gamification*). No ti termini nisu istoznačnice i veoma ih je važno razlikovati.

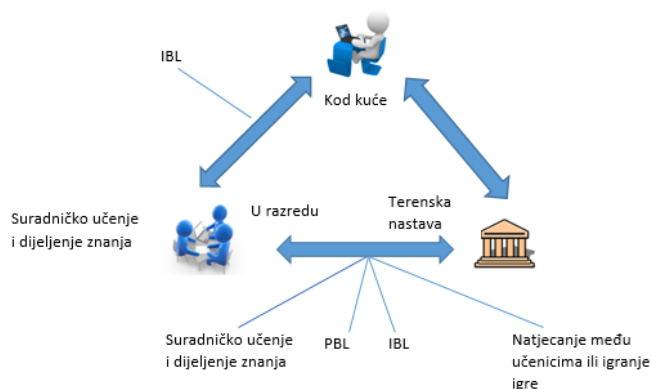
Učenje temeljeno na igrama se odnosi na korištenje video igara u obrazovanju, odnosno učenje putem igre. Video igra je stvorena za potrebe učenja određenog gradiva ili cjeline i imaju definirane ishode učenja koji se ostvaruju kako igrač (učenik) napreduje u igri. Najčešće je to kroz iskustvo stečeno tijekom igranja kao što je logičko razmišljanje, strateško planiranje i napredovanje prema cilju.

Igrifikacija je noviji koncept u kojem se elementi video igre ili mehanizmi slični video igrama implementiraju u materijale i sadržaje koji nisu video igra. Cilj implementacije je povećanje motivacije i interesa učenika ili poticanja određenog ponašanja. Primjeri komponenti koje se mogu dodati su: bodževi, bodovi, trofeji, otključavanje pojedinog sadržaja i sl. [16].

B. Strategije poučavanja i pedagoški modeli prikladni za igre

U posljednje vrijeme se koncept podučavanja promijenio s usmjerenosti na učitelja na usmjerenost na učenika. Obrnuta učionica (engl. *flipped classroom*) je postala među najzaglašenijim inovativnim strategijama podučavanja. Uloga učitelja je navođenje učenika na razmišljanje i razgovor te pravovremeno davanje povratnih informacija i savjeta. Kod obrnute učionice važno je kreiranje dobrih multimedijских sadržaja koji učenicima pružaju materijal za učenje te im omogućuju učenje bez vremenskog i prostornog ograničenja. Time se dolazi do koncepta učenja izvan učionice (engl. *seamless learning*) – iskustva kontinuiranog učenja i svjesnog povezivanja višestrukih nastojanja učenja kombiniranjem mjesta, vremena, tehnologija ili društvenih okolnosti [17].

Medij koji zadovoljava sve navedene kriterije su didaktičke igre. Didaktičke igre nude smislenu okruženja za učenje u kojim učenici stječu sposobnosti rješavanja problema i produbljuju svoje znanje. Često se unutar igre zadaju pitanja ili problemi koji zainteresiraju učenike. Drugim riječima, u igru se uključuje učenje temeljeno na problemu (engl. *problem based learning* PBL) i učenje temeljno na ispitivanju/istraživanju (engl. *inquiry based learning* IBL) [18]. PBL je učenje usmjereno na istraživanje, objašnjavanje i donošenje odluka postavljenog problema. Studenti obično rade u manjim grupama i stječu znanje s ciljem rješavanja problema [19]. Kod IBL-a učeniku se postavlja pitanje o željenoj temi, odnosno zadaje mu se „iskra“ (engl. *spark*) koja ga potiče na istraživanje. Učenici se ohrabruju da shvate problem te nakon toga traže moguća rješenja [18]. Slika 1 prikazuje model učenja koji se sastoji od kombinacije učenja u školi, učenja kod kuće i učenja u prirodi/terenske nastave.



Slika 1 Prikaz Učenja unutar i izvan učionice

Posljednjih godina bilježi se veliki porast upotrebe didaktičkih igara u raznim područjima, a najviše u obrazovanju i medicini [20]. Prihvatanje tehnologije u edukacijske svrhe vuče korijene iz poslovnog svijeta gdje se ciljevi razlikuju u odnosu ciljeve u obrazovanju. Tehnologije se u obrazovanju primjenjuju samo kada učitelji vjeruju da će njihova primjena pomoći u postizanju ishoda učenja. Obzirom na to video igre doista se mogu smatrati alatom suvremenih teorija poučavanja. Učitelji pronalaze brojne prednosti i vjeruju da mogu biti korisne u edukaciji kada spoznaju njihove mogućnosti za učenje [21].

Didaktičke igre, DGBL i igrifikacija se razlikuju od igara za zabavu. Iako su često jednako zanimljive, njihov primarni cilj je edukacija. Didaktičke igre često kombiniraju koncentraciju potrebnu za rješavanje izazova i zadovoljstvo doživljeno maksimalnim korištenjem vlastitih vještina. Integracija posla i igre karakterizira psihološko stanje koje se naziva „tok“ (engl. *flow*). Tok se odnosi na stanje uma čije su osobine visoka koncentracija i povišeno uživanje tijekom intrinzično zanimljive aktivnosti. Korištenje vještine tijekom izazovnih zadataka rezultira dubokom koncentracijom te udubljenosti u temu. Tok je također povezan s učenjem, razvijanjem talenta, akademskim postignućem i kreativnim uspjehom u poslu. Uvođenjem GBL-a učenje postaje puno ugodnije, povećava se uključenost učenika, pojava toka tijekom učenja postaje sve češća i posljedično se postižu ishodi učenja [2][22].

C. Utjecaj didaktičkih video igara na motivaciju učenika

Prepoznato je da didaktičke igre pružaju okruženje za učenje u kojima učenici stječu vještine i utvrđuju znanje tijekom igranja igre koja se kasnije mogu primijeniti u stvarnom svijetu. Istraživanja su pokazala da primjena igara mogu povećati interes za učenjem i povećati motivaciju. U usporedbi s tradicionalnim okruženjem za učenje, didaktičke igre pružaju zanimljivije okruženje za stjecanje znanja [23]. Povećanje motivacije se često povezuje s aspektom zabave kojeg uključuju igre. Motivacija odgovara skupu fizioloških procesa koji utječu na smjer, jačinu i ustrajnost ponašanja. Potrebno je uzeti u obzir nekoliko konstruktora motivacije kako bi se razumjelo složene mehanizme uključene u učenje. Ti konstruktori su: orijentacija na cilj, intrinzično – ekstrinzična motivacija, interes i samoučinkovitost [7]. Razina motivacije

određena je zadovoljavanjem triju osnovnih potreba: autonomije, sposobnosti i povezanosti. Zadovoljavanjem tih potreba povećava se intrinzična motivacija što vodi do kvalitetnijeg učenja [24].

Video igre odstupaju od alata e-učenja u dva aspekta – prvi se odnosi na poticanje intrinzične motivacije pomoću mašte, kontrole, izazova, znatiželje i natjecanja, a drugi na uvođenje igrača u kompleksna i bogata okruženja, dozvoljavajući istraživanje brojanih strategija i odluka i zahtijevajući završavanje zadataka koji postepeno postaju teži. Smještajući igrača u svijet igre gdje se mogu slobodno ponašati i kretati potiče se rješavanje problema, ponašanje usmjereno na cilj, angažman, a u slučaju igara s više igrača (engl. *multiplayer games*) i društvena suradnja. Igre pomažu razvijanju strateškog razmišljanja, grupnog donošenja odluke i viših kognitivnih vještina. Iz navedenog proizlazi da igre mogu bit korisne za stvaranje dubljeg razumijevanja ključnih principa zadane teme osobito prilikom rješavanja kompliciranih višestrukih problema koje je teško razumjeti samo kroz činjenično znanje [25].

IV. DIZAJN I RAZVOJ IGRE

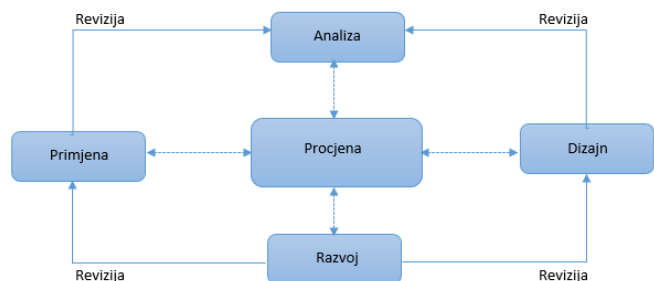
Didaktičke igre imaju veliki potencijal u obrazovanju, ali samo ako su dobro i primjereno dizajnirane. Dizajn igre se može definirati kao formalne metode korištene u specifikaciji i planiranju sadržaja i karakteristika igre. Najveći problem koji se javlja kod dizajniranja igre je pronaći ravnotežu između igranja i učenja zbog čega je glavni cilj ovih metoda održavati dovoljno intelektualne kontrole tijekom razvoja kako bi krajnji produkt bila poučna i zabavna igra [8] [26]. Dobro dizajnirana igra je interaktivna, ima svoj cilj i najvažnije, zabavna je [27][28]. Kao kriterij za odabir komercijalne igre je procjena koja igra će najbolje proći na tržištu, drugim riječima koja igra će donijeti najveću zaradu. Odlučujući element uspjeha ili neuspjeha određene igre je *gameplay* – način na koji se igra igra, uključujući pravila, prostor, ciljeve i kako ih ostvariti te ukupni doživljaj igrača. Ključ izrade uspješne didaktičke igre je unutar interakcije uključiti izbore bazirane na sadržaju koji od igrača zahtijevaju implicitno učenje tog (željenog) sadržaja, istovremeno ne gubeći komercijalnu komponentu – *gameplay* [8]. Za uspješno dizajniranje igre dobro je koristiti uzorak dizajna koji sustavno imenuje, motivira i objašnjava općeniti dizajn navodeći ponavljajuće probleme, i rješenja te posljedice njihove primjene kao i savjete i primjere. Gledajući na igre s četiri različita stajališta: **holistički** (opis stvarnih akcija), **granično** (opis ograničenja tih aktivnosti), **vremenski** (opis kronološkog red *gameplay-a*), **strukturalno** (funkcionalnost igre i njeno uzajamno djelovanje) postoji jedanaest glavnih kategorija uzoraka dizajna igre koji su prikazani u tablici 1. Svaki od uzoraka sadrži opći opis, primjere te za pojedine uzorke informacije s kojim drugim uzorkom ga nije moguće kombinirati. Ključna osobina uzoraka je da se moraju logički kombinirati s drugim uzorcima kako bi se stvorila struktura igre [26].

Kategorija uzorka	Opis
<i>Uzorci elemenata igre</i>	Opisuju objekte igre koji definiraju područje igre ili manipulacije igrača (npr. tragovi)
<i>Uzorci resursa i upravljanje resursima</i>	Opisuju različite tipove uzoraka kontroliranih od igrača i same igre (npr. bedževi, bodovi)
<i>Uzorci informacija, komunikacije i prezentacije</i>	Opisuju ponašanje informacija o stanju igre (npr. informacije o evaluaciji igre)
<i>Uzorci akcija i događaja</i>	Određuju koje vrste akcija su dozvoljene igraču, kako će utjecati na igru i na ciljeve igrača (npr. nagrade ili kazne)
<i>Uzorci narativnih struktura i predviđanja</i>	Upravljaju pričom i opredijeljenosti igrača (npr. iznenađenje)
<i>Uzorci društvenih interakcija</i>	Opisuju kako igra potiče društvenu interakciju među igračima (npr. igranje uloga)
<i>Uzorci ciljeva</i>	Ciljevi zadani igračima unutar igre (npr. prikupljanje informacija)
<i>Uzorci strukture ciljeva</i>	Opisuju na koji način <i>gameplay</i> utječe na ciljeve (npr. takmičenje)
<i>Uzorci sesije igre</i>	Opisuju karakteristike igre - instance, sesiju, ograničenja, mogućnosti i značajke (npr. vremensko ograničenje)
<i>Uzorci vještine igranja i ravnoteže</i>	Opisuju kako igrači koriste svoje vještine i mogućnosti u igranju igre i kako je moguće uravnotežiti igru obzirom na različite sposobnosti (npr. slučajnost)
<i>Uzorci ponovnog igranja i poteškoća u učenju</i>	Opisuju probleme izvan igranja jedne instance igre (npr. ponovno igranje)

Tablica 1 Kategorije uzoraka dizajna igre

Za dizajn i razvoj različitih sadržaja za učenje (engl. *courseware*), pa tako i didaktičkih igara najčešće se koristi ADDIE model [2]. ADDIE je kratica od početnih slova faza razvoja na engleskom jeziku - analiza (eng. *Analyze*), dizajn (eng. *Design*), razvoj (eng. *Develop*), primjena (eng. *Implement*) i procjena (eng. *Evaluate*). Prvotni model je bio hijerarhijski, odnosno morala se završiti cijela faza, sa svim podfazama, prije prelaska u novu. Vremenom je model postao

dinamičniji i interaktivniji te su mnogi drugi modeli samo njegove varijacije. Interaktivnosti faza su prikazane na slici 2.



Slika 2 Faze ADDIE modela

S ciljem dodatnog poboljšanja razvoja didaktičkih igara na Sveučilištu u Ljubljani su proširili postojeći model i na početak dodali još jednu fazu – specifikaciju (engl. *Specification*) čime su razvili SADDIE model. U fazi specifikacije se identificira didaktički problem u procesu učenja koji nije moguće efikasno riješiti tradicionalnim podučavanjem, definiraju se ishodi učenja te svrha inovativnih metoda korištenih u igri koje omogućuju efikasno rješavanje specificiranog problema [29].

U fazi analize prikupljaju se i analiziraju informacije te se može smatrati kao faza postavljanja ciljeva. Usredotočenost ove faze je na ciljanoj skupini i prilagodba sadržaja vještina i znanju učenika kako ne bi došlo do ponavljanja gradiva koje su učenici već svladali. U ovoj fazi učitelji moraju razlikovati što učenici već znaju i što bi trebali znati nakon završene igre. U fazi dizajna se određuju svi ciljevi, alati koji će se koristiti za razvoj, analiza sadržaja, planiranje i resursi. Fokus faze dizajna je na ishodima učenja, sadržaju, planiranju lekcija, provjeri znanja i na alatima.

Fazom razvoja započinje izrada igre i testiranje korištenih metoda. U ovoj fazi se koriste podaci prikupljeni u prethodnim fazama za stvaranje igre koja će učenicima prenijeti sve važno. Uključuje tri zadatka: skiciranje, produkciju i procjenu.

Faza primjene ili implementacije odražava kontinuiranu promjenu igre kako bi bili sigurni da se postigla maksimalna učinkovitost i da su dobiveni pozitivni rezultati. Teži se redizajniranju, ažuriranju i uređivanju igre kako bi osigurala efikasnost iste. Ova faza zahtijeva mnogo posla pošto učenici i učitelji surađuju u ispitivanju alata i konstanto se ocjenjuje dizajn radi daljnjeg unaprjeđenja.

Posljednja faza ove metode je procjena u kojoj se igra podvrgava detaljnom završnom ispitivanju obzirom što, kako, zašto i kada se postiglo (ili se nije postiglo) tijekom cijelog projekta. Može se podijeliti u dva dijela – formativni i sumativni. Početna procjena se događa tijekom faze razvoja, formativna procjena se događa u fazi implementacije uz pomoć učenika i učitelja, a sumativna procjena se događa na kraju programa. Glavni zadatak ove faze je utvrditi jesu li ispunjeni svi zadani ciljevi i odrediti što je potrebno za daljnje napredovanje kako bi se unaprijedila učinkovitost.

Svaka faza ADDIE metode uključuje formativnu procjenu što je osnovna/suštinska komponenta. Tijekom faze evaluacije potrebno je utvrditi jesu li riješeni problemi koji su se pojavljivali u igri i jesu li ispunjeni postavljeni ciljevi [30].

Za razvoj digitalne didaktičke igre učiteljima pomažu dostupni gotovi alati. Neki od tih alata su:

- *eAdventure* – razvijen je na Sveučilištu u Madridu (*Universidad Complutense de Madrid*) za potrebe istraživačkog projekta uvođenja digitalnih didaktičkih igara u nastavu, a za razvoj igara nije potrebno znanje iz programiranja [31].
- *Scratch* – razvijen je na MIT-u a uključuje alate za kreiranje interaktivnih priča, igara, simulacija [32].
- *Construct 2* – HTML5 alat razvijen ciljano za 2D igre, a omogućuje razvoj igre bez znanja programiranja [33].
- *GameMaker: Studio* – omogućuje razvoj igre bez obzira na predznanje [34].
- *Unity* – omogućuje razvoj 2D i 3D igara no za razvoj bilo koje igre potrebno je znanje C# i JavaScript programskih jezika [35].
- *Adventure Game Studio* – alat za razvoj *point and click* igara avantura [36].
- *DX Studio* – alat za razvoj 3D igara i simulacija no za razvoj igara zahtijeva znanje programiranja u C#, C++ ili JavaScriptu [37].
- *Torque 3D* – alat za razvoj 3D igara, a z razvoj igre zahtijeva znanje programiranja u C++ [38].

Postoji mnoštvo alata za razvoj digitalne didaktičke igre no zajednička osobina svih njih je da su komplicirani za nastavnike koji nemaju (dovoljno) predznanja za njihovu upotrebu pošto često zahtijevaju znanje jednog ili više programskih jezika.

V. DIDAKTIČKE IGRE U NASTAVI INFORMATIKE

Didaktičke video igre pomažu u razvoju prostorne orijentacije, procesa vizualne pažnje, perceptivno – motoričkih sposobnosti te vještina rješavanja problem. Pošto povećavaju motivaciju učenika, olakšavaju učenje složenih gradiva sve češće se primjenjuju i u nastavi informatike [39]. Glavni cilj igara u nastavi informatike je uvesti učenike u svijet kompleksnih problema. Učenicima je izazov steći relevantno znanje te povezano razmišljanje i strategije rješavanja problema. suočeni su sa slabo strukturiranim problemima koji često dopuštaju višestruke izbore i zahtijevaju primjenu određenih metoda i suradnju s ostalim učenicima [40]. Neka od područja informatike gdje se primjenjuju didaktičke igre su Booleova algebra, analiza i dizajn baza podataka te programiranje.

Booleovu algebru čine logički računi s vrijednostima 0 – laž i 1 – istina. U svakodnevnom životu postoji mnogo problema koji zahtijevaju donošenje odluke ili stvaranje pravila na koje je moguće primijeniti pravila Booleove algebre kako bi se lakše uvidjelo moguće posljedice. Učenicima je dosta teško vidjeti i shvatiti povezanost stvarnog života i Booleove algebre. Kako

bi im se to olakšalo razvijena je nekolicina igara. Dio učenika je za učenje navedenog gradiva koristio igre slagalica. Standardna pravila slagalica su zamijenjena skupom Booleovih izraza. Pokazalo se da učenici pomoću igre s primjerima iz stvarnog života lakše shvaćaju apstraktne koncepte. Svaka igra se sastoji od pravila, skripti i uloga. Mnoge popularne komercijalne igre imaju dobro dizajnirana pravila, scenarij te uloge. Jedna od njih je Pac-Man te se iskoristila za učenje navedene teme. Pravila igre su se prilagodila tako da su prikazana pomoću Booleove algebre, npr. pravilo „pojedi pilulu I takni duha -> pogodak“ uključuje operatore konjunkcija i implikacije za jedan slučaj osvajanja boda. Dakle učenici mogu vježbati shvaćanje Booleove algebre iz pravila igre i obratno [41].

Pedagoške strategije za učenje analize i dizajna baza podataka su slične onima za učenje programiranja, potrebno je prenijeti veliku količinu tehničkog znanja pri čemu su učenici samo pasivni slušatelji. Učenici pokušavaju čim bolje svladati osnovne koncepte, a većini poteškoće stvaraju apstraktna i kompleksna domena ovog područja. Također, često imaju znatnih poteškoća s razumijevanjem problema neovisnih o primjeni, analizom problema kod kojih ne postoji jednostavna, jedinstvena točna opcija, rješavanjem mogućih nejasnoća i nedorečenosti. Zbog navedenog kod učenika se može pojaviti zbuđenost, manjak samopouzdanja i nedostatak motivacije za daljnjim učenjem. Kako bi olakšali učenje ovog apstraktnog područja, autori su razvili online simulacijsku didaktičku igru. Učenici su podijeljeni u 3 grupe sve sa sličnim predznanjem. Jedna grupa je imala klasičnu f2f nastavu, druga je dio nastave imala klasično u učionici, a dio online i posljednja grupa je imala čistu online nastavu koristeći razvijeni sustav. Usporedbom rezultata pokazalo se da online grupa je imala manji postotak odustajanja – 7% dok postotak odustajanja u grupi s klasičnom nastavom iznosio 13%. Analizirano je i stečeno znanje u različitim grupama te su autori zaključili da su preliminarni rezultati pozitivni [42].

Počelnici u programiranju često imaju problema sa svladavanjem gradiva jer se radi o kompleksnim, apstraktni i zahtjevnim konceptima koji se u potpunosti razlikuju od svega s čime su se do sada susreli. Svladavanje gradiva podrazumijeva algoritamsko razmišljanje i vještine rješavanja problema. Učitelji žele zadati zadatke koji će potaknuti učenje, ali moraju biti dovoljno zanimljivi kako bi ih učenici željeli završiti. Učenici trebaju svladati osnovne koncepte i vještinu programiranja za njihovu uspješnu primjenu. Gradivo jako brzo postaje nejasno te je veliki postotak odustajanja. Drugi problem koji se javlja kod učenja programiranja su velike grupe u kojima učitelji nisu u mogućnosti posvetiti se svakom učeniku zbog čega slabiji učenici brzo zaostaju dok napredniji učenici postaju nezadovoljni s presporom obradom gradiva. U oba slučaja pada zainteresiranost za učenjem [43]. Kako bi se to spriječilo nastoje se primijeniti didaktičke igre u nastavi programiranja. Izrada igara za programiranje je kompleksna jer samo uvrštavanjem ponavljajućih zadataka u formu igre stvara se neizazovno okruženje za učenje te učenici brzo gube interes.

Poželjno je razviti igru s okruženjem za učenje programiranja gdje učenici uvelike mogu kontrolirati ishode učenja tako što sustavno analiziraju zadatke te pišu/koriste kod za potencijalno pobjedničku strategiju. Učenici prate izvršavanje pritom uviđajući jesu li odabrane strategije bile dobre [44][45][46]. Postoji sve više igara koje su dizajnirane i razvijene ciljano za učenje programiranja. Njihova namjena je raznolika, za početnike koji se prvi puta susreću s programiranjem do igara namijenjenih učenju pojedinih kompleksnijih koncepata.

Program your robot je didaktička igra dizajnirana za vježbanje početnih koncepata programiranja. Cilj igre je pomoći robotu da pobjegne s platformi tako što se konstruira plan bijega dajući mu naredbe. Naredbe su podijeljene u dvije skupine – naredbe akcije i naredbe programiranja. Naredbe akcije izravno utječu na robota (idi naprijed, lijevo itd.), a naredbe programiranja imaju indirektni utjecaj jer pomoću njih igrač razvija strategiju. Igra ima više razina, svaka od njih predstavlja različiti izazov s ciljem da se nauče različiti koncepti. Evaluacija je pokazala da većina studenata igru smatra dobro prilagođenom za razumijevanje početnih koncepata programiranja i razvijanja vještina rješavanja problema [47].

Na sveučilištu u Ljubljani razvijena je i implementirana igra za učenje jednog od osnovnih koncepata – varijabli. Ishodi učenja su jasno definirani, razumijevanje varijabli kao vrijednosti pohranjenih u računalu, poznavanje različitih tipova varijabli, poznavanje da različiti tipovi varijabli nisu međusobno kompatibilni itd. Radnja igre se odvija na nepoznatom planetu u svemiru. Svaki dio vezan za varijable se uči u posebnom nivou igre. Počinje se od najjednostavnijeg, deklaracije varijabli prema kompliciranijem gradivu, implicitno zadavanje vrijednosti varijabli. Igra je temeljena na vizualizaciji različitih tipova varijabli i na objašnjenju pojedinih uloga. Ovime se potiče aktivno učenje i prezentacija sadržaja u drukčijem kontekstu koji je učenicima zanimljiv i motivirajući [44].

Sustav SIMPLE namijenjen je kreiranju GBL okruženja za studente prvih godina studija. Unutar njega je razvijena igra *Resource Craft* inspirirana komercijalnim igrama *Warcraft* i *Command&Conquere*. To je igra strategije u kojoj se razvija i unapređuje okolina ovisno o igračevim odlukama donesenim tijekom igre te svladavanju zadanih problema. Za mjerenje uspješnosti koristi se pristup „cilj, pitanje, metrika“ (engl. *Goal Question Metric – GQM*) koji počinje postavljanjem cilja za pojedini problem. Cilj mora biti takav da ga je moguće ne neki način izmjeriti ili evaluirati. Konačni ishod ovog pristupa je hijerarhijski model sastavljen od skupa ciljeva, a svaki od ciljeva ima odgovarajući skup pitanja i mjerne podatke izvedbe. Provedeno je istraživanje koristi navedene igre. Studenti su podijeljeni u dvije grupe, prva grupa je učila programiranje pomoću igre, dok je druga gradivo pokušavala svladati na tradicionalan način. Rezultati istraživanja pokazuju da su studenti koristeći igru poboljšali znanje iz programiranja, bili su motiviraniji za učene te su se zabavili. U grupi koja je učila pomoću igre povećao se broj boljih rezultata na ispitu, a

smanjili loši rezultati. Studenti su bili motivirani za istraživanje okruženja igre, ne samo radi zabave, već da bi vježbali naprednije programske vještine [45].

Sustav opisan u [48] je namijenjen studentima prvih godina za učenje varijabli i razvijanju jednostavne programske logike. Autori smatraju da se učenje programiranja odvija kroz četiri faze – primanje (pasivno skupljanje podataka čitanjem ili slušanjem), vizualizacija (vizualna pomoć shvaćanja koncepta, npr. skica), pojačavanje (vježbanje upotrebe koncepta), primjena i sintetiziranje (primjena naučenog, npr. u razvoju aplikacije). Studenti moraju sami razviti igru i na taj način svladavaju zadane koncepte. Potrebno je napraviti trkaću stazu i smjestiti automobile ne nju. Igra mora biti programirana tako da traje točno određeni broj krugova te je potrebno diskvalificirati automobile koji napuste stazu. Preliminarna istraživanja su pokazala da su studenti bili zadovoljni navedenim načinom učenja, lakše im je savladati gradivo vizualizirajući koncepte kodiranja [48].

VI. ZAKLJUČAK

U posljednje vrijeme se pozornost sve više okreće didaktičkim računalnim igrama. Igre će se nastaviti razvijati što mijenja tradicionalni način razmišljanja o učenju i rješavanju problema te će na određeni način tradicionalni učitelji biti primorani prihvatiti ih i više implementirati u nastavu. U tom pogledu treba ispitati koji je najbolji način prelaska s tradicionalnog načina poučavanja na didaktičke računalne igre.

Novi trendovi u obrazovanju ističu kako prezentaciju nastavnog sadržaja treba prilagoditi digitalnom dobu, stoga valja razmotriti na koji način potaknuti korištenje računalnih digitalnih igara u nastavi. Svrha njihove primjene je vizualizacija nastavnog sadržaja koje često zna biti apstraktno i teško za praćenje i povećanje motivacije učenika što posljedično uzrokuje i bolje rezultate učenja te poticanje učenja STEM predmeta i informatike (posebice programiranja).

S učenjem osnova programiranja važno je započeti već od najranijeg uzrasta djece odnosno u ranom predškolskom te primarnom odgoju i obrazovanju. Jedan od pravaca istraživanja uporabe didaktičkih računalnih igara bio bi vezan upravo uz ovo područje. Treba razmotriti može li se pomoću digitalnih računalnih igara potaknuti rano učenje programiranja. Drugim riječima, mogu li se učenici mlađeg uzrasta, pomoću njima poznatog i zanimljivog okruženja, zainteresirati za inače kompleksno područje.

Pri tome treba pažljivo koristiti postojeće te razviti nove pedagoške modele i scenarije učenja koji bi bili prikladni za učenje programiranja temeljeno na igrama i/ili za implementaciju igrifikacije pri čemu je posebno važno naći način kako dizajnirati didaktičku igru obzirom na različita predznanja učenika te različitu brzinu svladavanja gradiva. Igre, odnosno njihovi zadaci ne smiju biti niti preteški niti prelagani te moraju biti prilagodljivi napretku učenika kako bi ih zadržali zainteresiranima.

Jedan od izazova primjene didaktičkih računalnih igara u nastavi je njihov razvoj i dostupnost nastavnicima za korištenje. Još uvijek nema dovoljno gotovih igara koje bi se mogle koristiti u nastavi, posebice ne onih prilagođenih hrvatskom obrazovnom sustavu. Stoga bi bilo dobro da nastavnici imaju mogućnost izrade i prilagodbe vlastitih igara no iako postoji mnoštvo alata za izradu igri, oni su većinom previše kompleksni i zahtijevaju znanje programiranja. Ukoliko se želi potaknuti odgajatelje i učitelje na korištenje didaktičkih igara u nastavi, treba im omogućiti sustav za razvoj koji će biti intuitivan i jednostavan za upotrebu. Modeliranje sustava za dizajniranje i razvoj didaktičkih igara koji će podržati kreiranje igri u skladu sa suvremenim GBL scenarijima učenja jedan je od zanimljivih pravaca za daljnja istraživanja u ovom području.

LITERATURA

- [1] M. Prensky, "Digital Natives, Digital Immigrants," *Horiz.*, vol. 9, no. 5, pp. 1–6, 2001.
- [2] J. Rugelj, "Serious computer games in computer science education," *EAI Endorsed Trans. Game-Based Learn.*, vol. 2, no. 6, p. 150613, 2015.
- [3] R. Garris and R. Ahlers, "A Research and Practice Model," *Simul. Gaming*, vol. 33, no. 4, pp. 441–467, 2002.
- [4] R. H. Ministarstvo znanosti obrazovanja i športa, "Nacionalni okvirni kurikulum." [Mrežno]. Dostupno: http://www.azoo.hr/images/stories/dokumenti/Nacionalni_okvirni_kurikulum.pdf. [Preuzeto 2. studenog 2016.]
- [5] R. Aust, M. Nitsche, and J. Pelka, "Digital learning," *Perspect. Innov. Econ. Bus.*, vol. 14, no. 3, pp. 113–131, 2014.
- [6] N. Hoic-Bozic, M. Laanpere, K. Pata, I. Frankovic, and S. Teder, "Introducing inquiry-based learning to Estonian teachers: Experiences from the Creative Classroom project," *2016 39th Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron.*, pp. 1010–1015, 2016.
- [7] S. Erhel and E. Jamet, "Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness," *Comput. Educ.*, vol. 67, no. March 2016, pp. 156–167, 2013.
- [8] G. A. Gunter, R. F. Kenny, and E. H. Vick, "Taking educational games seriously: Using the RETAIN model to design endogenous fantasy into standalone educational games," *Educ. Technol. Res. Dev.*, vol. 56, no. 5–6, pp. 511–537, 2008.
- [9] D. Ifenthaler, D. Eseryel, and X. Ge, "Assessment in game-based learning: Foundations, innovations, and perspectives," *Assess. Game-Based Learn. Found. Innov. Perspect.*, pp. 1–461, 2012.
- [10] B. Kim, H. Park, and Y. Baek, "Not just fun, but serious strategies: Using meta-cognitive strategies in game-based learning," *Comput. Educ.*, vol. 52, no. 4, pp. 800–810, 2009.
- [11] P. Backlund and M. Hendrix, "Educational games-are they worth the effort? A literature survey of the effectiveness of serious games," *Games Virtual Worlds Serious Appl. 2013 5th Int. Conf.*, no. December, 2013.
- [12] T. Susi, M. Johannesson, and P. Backlund, "Serious Games – An Overview," *Elearning*, vol. 73, no. 10, p. 28, 2007.
- [13] K. Corti, "Games-based Learning: a serious business application," *Inf. PixelLearning*, vol. 34(6), pp. 1–20, 2006.
- [14] M. Romero, M. Usart, and M. Ott, "Can Serious Games Contribute

- to Developing and Sustaining 21st Century Skills?," *Games Cult.*, vol. 10, no. 2, pp. 148–177, 2015.
- [15] M. Ebner and A. Holzinger, "Successful implementation of user-centered game based learning in higher education: An example from civil engineering," *Comput. Educ.*, vol. 49, no. 3, pp. 873–890, 2007.
- [16] C. Perrotta and E. Houghton, *Game-based learning : latest evidence and future directions.* .
- [17] G.-J. Hwang, C.-L. Lai, and S.-Y. Wang, "Seamless flipped learning: a mobile technology-enhanced flipped classroom with effective learning strategies," *J. Comput. Educ.*, vol. 2, no. 4, pp. 449–473, 2015.
- [18] G.-J. Hwang, L.-Y. Chiu, and C.-H. Chen, "A contextual game-based learning approach to improving students' inquiry-based learning performance in social studies courses," *Comput. Educ.*, vol. 81, no. January, pp. 13–25, 2015.
- [19] C. E. Hmelo-Silver, "Problem-based learning: what and how do students learn," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 235–266, 2015.
- [20] F. C. Blumberg, D. E. Almonte, J. S. Anthony, and N. Hashimoto, "Serious Games: What Are They? What Do They Do? Why Should We Play Them?," *Oxford Handb. Media Psychol.*, pp. 334–351, 2013.
- [21] J. Bourgonjon, F. De Grove, C. De Smet, J. Van Looy, R. Soetaert, and M. Valcke, "Acceptance of game-based learning by secondary school teachers," *Comput. Educ.*, vol. 67, pp. 21–35, 2013.
- [22] J. Hamari, D. J. Shernoff, E. Rowe, B. Coller, J. Asbell-Clarke, and T. Edwards, "Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning," *Comput. Human Behav.*, vol. 54, pp. 170–179, 2016.
- [23] G.-J. Hwang, H.-Y. Sung, C.-M. Hung, I. Huang, and C.-C. Tsai, "Development of a personalized educational computer game based on students' learning styles," *Etr&D-Educational Technol. Res. Dev.*, vol. 60, no. 4, pp. 623–638, 2012.
- [24] D. Eseryel, V. Law, D. Ifenthaler, X. Ge, and R. Miller, "An investigation of the interrelationships between motivation, engagement, and complex problem solving in game-based learning," *Educ. Technol. Soc.*, vol. 17, no. 1, pp. 42–53, 2013.
- [25] C. Brom, V. Šisler, and R. Slavik, "Implementing digital game-based learning in schools: Augmented learning environment of 'Europe 2045,'" *Multimed. Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 23–41, 2010.
- [26] S. Kelle, R. Klemke, and M. Specht, "Design patterns for learning games," *Int. J. Technol. Enhanc. Learn.*, vol. 3, no. 6, pp. 555–569, 2011.
- [27] W. W. T. Law, H. Du, R. B. King, and S. K. W. Chu, "Why Do Some Students Learn Better Than Others in Digital Game Based Learning? The Role of Hope and Social Support," *CITE Res. Symp. 2014*, pp. 0–13, 2014.
- [28] A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, and O. Shabalina, "Creativity in intelligent technologies and data science: First conference, CIT&DS 2015 volgograd, Russia, september 15–17, 2015 proceedings," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 535, pp. 734–747, 2015.
- [29] M. Zapašek and J. Rugelj, "Achieving teachers' competences in the serious game design process," *Proc. Eur. Conf. Games-based Learn.*, vol. 2, pp. 662–665, 2014.
- [30] E. Forest, "The ADDIE model: Instructional Design." pp. 1–9, 2014. [Mrežno]. Dostupno: <http://educationaltechnology.net/the-addie-model-instructional-design/> [Preuzeto 11. listopada 2016]
- [31] e-UCM, »General information - About eAdventure,« e-UCM research group; The eAdventure team, 2012. [Mrežno]. Dostupno: <http://e-adventure.e-ucm.es/about/>. [Preuzeto 22. rujna 2016].
- [32] MIT Lifelong Kindergarten, "Scratch - Imagine, Program, Share." 2016. [Mrežno]. Dostupno: <https://scratch.mit.edu/about> . [Preuzeto 22. rujna 2016.]
- [33] SCIRRA, »Construct 2,« SCIRRA, 2016. [Mrežno]. Dostupno:<https://www.scirra.com/construct2>. [Preuzeto 12. studenog 2016].
- [34] Y. Games, »GameMaker: Studio Documentation,« 2015. [Mrežno]. Dostupno: <https://docs.yoyogames.com/>. [Preuzeto 27. listopada 2016].
- [35] "Unity - Game engine, tools and multiplatform." . [Mrežno]. Dostupno: <https://unity3d.com/unity> . [Preuzeto 10. studenog 2016.]
- [36] U. Manual, "Adventure Game Studio," *Games Virtual Worlds Serious Appl. (VS-Games), 2015 7th Int. Conf.*, pp. i–iii, 2010.
- [37] "Features - DX Studio." [Mrežno]. Dostupno: <http://www.dxstudio.com/features.aspx> . [Preuzeto: 13. listopada 2016.]
- [38] "Torque 3D _ Products _ GarageGames." [Mrežno]. Dostupno: <http://www.garagegames.com/products/torque-3d> . [Preuzeto 13. listopada 2016]
- [39] M.-C. Li and C.-C. Tsai, "Game-Based Learning in Science Education: A Review of Relevant Research," *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 22, no. 6, pp. 877–898, 2013.
- [40] C. Bond, "Journal of Computer Assisted Learning," *Anzmac*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2010.
- [41] J. Weng, S. Tseng, and T. Lee, "Teaching Boolean Logic through Game Rule Tuning," vol. 3, no. 4, pp. 319–328, 2010.
- [42] T. Connolly, M. Stansfield, and E. McLellan, "Using an online Games-Based learning approach to teach database design Concepts," *Electron. J. e-Learning*, vol. 4, no. 1, pp. 103–110, 2006.
- [43] E. Nunohiro, K. Matsushita, K. J. Mackin, and M. Ohshiro, "Development of game-based learning features in programming learning support system," *Artif. Life Robot.*, vol. 17, no. 3–4, pp. 373–377, 2013.
- [44] M. Zapašek and J. Rugelj, "Learning programming with serious games," *EAI Endorsed Trans. Game-Based Learn.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [45] H. C. Jiau, J. C. Chen, and K. F. Ssu, "Enhancing self-motivation in learning programming using game-based simulation and metrics," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 52, no. 4, pp. 555–562, 2009.
- [46] R. Lawrence, "Teaching Data Structures Using Competitive Games," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 47, no. 4, pp. 459–466, 2004.
- [47] C. Kazimoglu, M. Kiernan, L. Bacon, and L. Mackinnon, "A Serious Game for Developing Computational Thinking and Learning Introductory Computer Programming," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 47, pp. 1991–1999, 2012.
- [48] W. B. L. Frederick and C. Watson, "Game-based concept visualization for learning programming," *MTDL '11 Proc. third Int. ACM Work. Multimed. Technol. distance Learn.*, pp. 37–42, 2011.